编者按　随着社会经济的发展，粮食安全的内涵也发生了根本变化。当前，我国粮食安全已经转变成饲料粮安全，为此应树立大粮食安全观。开展生态草牧业科技创新，解决好牧草种业“卡脖子”问题与提高边际土地饲草生产力是推动农业结构调整、保障国家饲料粮安全的重要命题。为此，2020 年 11 月，中国科学院启动“创建生态草牧业科技体系”战略性先导科技专项（A 类），拟通过理论创新、技术研发、系统集成和示范区建设，打造生态草牧业高质量发展样板。“生态草牧业高质量发展”专题论述了我国农牧交错带结构调整、盐碱地“滨海草带”建设、牧草分子育种、天然草地改良、草产品加工和草食家畜乳肉功能性产品调控等技术的重要性，以期为促进我国生态草牧业发展提供科技支撑、实现路径和政策建议。本专题由中国科学院植物研究所种康院士、方精云院士和景海春研究员共同指导推进。

北方农牧交错带在保障国家大粮食安全中发挥重要作用

高树琴[1]　段 瑞[2]　王竑晟[2]　李 昂[3]　石 岳[3]　景海春[1]　方精云[1*]

1 中国科学院植物研究所 中国科学院生态草牧业工程实验室 北京 100093
2 中国科学院 科技促进发展局 北京 100864
3 中国科学院植物研究所 植被与环境变化国家重点实验室 北京 100093

摘要　粮食安全是国家安全的重要基础。随着社会经济发展和居民对营养健康的更高要求，我国面临的粮食安全已不是传统意义上的口粮安全，而是逐渐演变为饲料粮安全，为此应树立大粮食安全观。文章分析了 2010—2019 年我国牛羊肉和牛奶的消费量及生产量，发现生产量的增长速度显著低于消费的增长速度，因而导致大量进口国外的牛羊肉和牛奶产品。对比世界和亚洲地区的平均消费量，未来我国的牛羊肉和牛奶消费需求将持续增长。针对我国牛羊肉自给率保持在 85% 左右、奶源自给率保持在 70% 以上的发展目标，如何实现在保护生态环境的条件下提高畜牧业生产是一个重要课题。根据“以小保大”原理，通过发展小面积高产人工草地，服务大面积天然草地保护的生态草牧业，过去几年在国内不同区域的实践取得了可借鉴的成功经验。文章就如何发挥我国北方农牧交错带区域农牧系统的耦合效应，通过发展生态草牧业服务我国大粮食安全和乡村振兴战略实施，从而实现该区域的高质量发展，提出 4 点建议：加强顶层设计，做好总体规划；利用现代分子生物学手段，加快优良牧草品种培育；加强草产品加工的科技研发，提高饲草原料的利用效率；结合实施乡村振兴战略，打造一批由畜产品产业主导的特色乡镇。

关键词　生态草牧业，北方农牧交错带，粮食安全，生态安全

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20210509002

*通信作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA26050000、XDA26010000），中国科学院科技扶贫项目（KFJ-FP-201804）
修改稿收到日期：2021 年 6 月4日

农为邦本，本固邦宁。粮食安全是国家安全的重要基础。习近平总书记多次强调，要把中国人的饭碗牢牢端在自己手中。2020年底召开的中央农村工作会议上，习近平总书记再次强调，要牢牢把住粮食安全主动权。据海关总署公布数据，2020年我国进口粮食142.62 Mt，同比增加31.18 Mt，增幅28%。其中，进口大豆首次突破100 Mt，达100.33 Mt，比2019年的88.51 Mt增长13.3%。国家统计局公布数据显示，2020年我国粮食总产量669.49 Mt，而进口粮食相当于我国粮食总产量的21.3%。

我国是个人口众多的大国，解决好吃饭问题始终是治国理政的头等大事。1993年4月1日起，按照国务院《关于加快粮食流通体制改革的通知》（国发〔1993〕9号）精神，我国取消了粮票和油票，实行粮油商品敞开供应。1994年8月，美国世界观察研究所创始人莱斯特·布朗（Lester R. Brown）[1]发表了《谁来养活中国？》（*Who will feed China?*）一文。1996年10月，国务院新闻办公室发布《中国的粮食问题》白皮书，正面回应了“谁来养活中国”的疑问，提出“立足国内资源，实现粮食基本自给，是中国解决粮食供需问题的基本方针”，并提出了“粮食自给率不低于95%”的目标。2008年11月，国家发展和改革委员会公布的《国家粮食安全中长期规划纲要（2008—2020年）》再次明确这一目标，要保障粮食等重要食物基本自给。到“十二五”中期，包括谷物、豆类和薯类等在内的粮食自给率已经不足90%。2013年中央经济工作会议明确“谷物基本自给、口粮绝对安全”的新目标贯彻至今。

粮食安全的内涵会随着国民经济的发展而逐渐演进。随着我国社会经济的发展，特别是改革开放以来，口粮在居民的膳食结构中比例不断下降，而肉蛋奶等动物性食品的比例不断增加[2]。因此，口粮消耗占我国粮食消费量的比例下降的同时，饲料粮的消耗占比不断增加。据统计，我国生产饲料用原粮已达到了粮食总产量的50%[3]。我国口粮（稻谷和小麦）的自给率为98.7%以上[4]，而进口的大豆和玉米主要用途是作为饲料原料。可以说，我国面临的粮食安全已不是传统意义上的口粮安全，而是逐渐演变为饲料粮安全[5]。因此，我们必须树立大粮食安全观。2019年10月，国务院新闻办发表《中国的粮食安全》白皮书，这是继1996年《中国的粮食问题》后，政府发布的第二部关于粮食安全问题的白皮书，其中提出要“顺应饲料用粮需求快速增长趋势，积极发展饲料加工和转化，推动畜禽养殖发展，满足居民对肉蛋奶等的营养需求”。

1 我国乳肉产品消费需求不断升级

随着社会经济的发展和人民物质生活水平的不断提高，居民对膳食要求也越来越高。2010—2019年，我国人均肉类（只包含猪肉、禽肉、牛肉、羊肉，后同）的年消费量从27.4 kg增加到34.5 kg，增加了26.1%；其中，猪肉增长比例为15.6%，而牛羊肉的增长比例为30.6%，是猪肉消费增长比例的2倍。同时期，我国人均奶类的年消费量也从8.8 kg增长到12.5 kg，增长比例为42.7%（图1）。按照中国营养学会组织编著的《中国居民膳食指南（2016）》[6]，建议每天的奶类摄入量是300 g，相当于每年109.5 kg；目前，我国

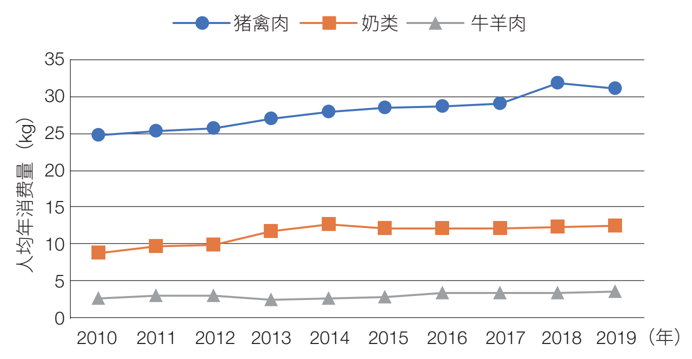


图1　2010—2019年我国人均肉类（猪禽肉、牛羊肉）、奶类消费量变化

Figure 1　Annual per capita consumption of meat (pig meat, poultry meat, beef, and mutton) and dairy in China from 2010 to 2019

数据来源：国家统计局网站历年中国统计年鉴

Data source: China Statistical Yearbook

居民的奶类年消费量只有 12.5 kg，只相当于建议摄入量的 11.4%。因此，我国未来奶类消费提升的空间非常巨大。同时，建议我国居民每天的畜禽肉摄入量是 45—75 g，折算每年为 14.6—27.4 kg；目前我国居民的畜禽肉年消费量是 34.5 kg，已高于建议摄入量。

我国乳肉产品消费总量增加的同时，肉类消费结构也在逐渐发生变化，耗粮型的猪肉消费比例下降，牛羊肉等草食家畜的消费比例略有增加[7]。尽管2010—2019 年我国人均牛羊肉消费不断增加，但在总体肉类消费中的占比仅为 8%—10%，远低于世界平均值（26.6%），也低于亚洲地区的平均值（19.8%）（图 2）。研究表明，随着人均国内生产总值（GDP）的增长，居民对动物蛋白营养的需求也会增长，且呈正相关关系[8]。改革开放以来，我国居民对动物性食物的需求呈快速增加趋势，但是城乡间差距较大。我国农村居民的动物性食物蛋白摄入量为城市居民的 77.5%，而农村居民的人均奶类消费量仅为城市居民的 35.1%[9]。伴随着我国社会经济发展，特别是乡村振兴战略的实施，未来我国城乡居民对肉类（特别是牛羊肉）、奶类等优质动物蛋白食物的需求

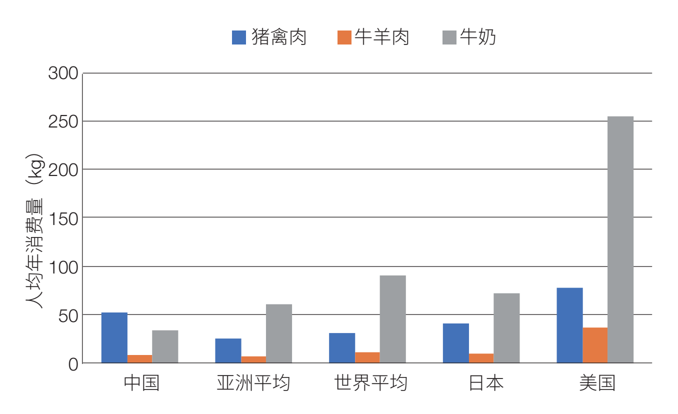


图 2　2013 年代表性国家和地区的肉类、牛奶人均年消费量
Figure 2　Annual per capita consumption of meat (pig meat, poultry meat, beef, and mutton) and dairy in typical countries and regions in 2013

数据来源：联合国粮食及农业组织（FAO）数据库
Data source: FAO database

将持续增长。2010—2019 年的 10 年间，我国人均牛羊肉的消费量增加了 30.6%，而我国牛羊肉的产量增长比例为 9.8%；我国人均牛奶的消费量增加了 42.7%，而我国牛奶的产量仅增长了 5.3%，远低于消费需求的增长。因此，我国进口牛羊肉和液态奶的数量持续增长[7]。2020 年，我国牛羊肉和牛奶进口均大幅增加。其中，进口牛羊肉 2.483 Mt，比上一年增加了 21%，相当于我国牛羊肉产量的 21.3%；进口乳制品折合生鲜乳 18.75 Mt，比上一年增加了 8.3%，相当于我国牛奶产量的 54.5%①。2020 年 9 月，国务院办公厅印发《关于促进畜牧业高质量发展的意见》（国办发〔2020〕31 号），在发展目标中明确提出“牛羊肉自给率保持在 85% 左右，奶源自给率保持在 70% 以上”。这对我国草牧业的未来发展提出了明确要求。

2 草牧业发展促进我国畜产品结构调整

牛、羊是草食性家畜，而猪和禽类养殖则需要消耗大量的饲料粮。随着我国牛羊肉和牛奶需求的增长，天然草地的供应能力已无法满足牛羊养殖发展，导致我国牛羊养殖过程中大量依赖饲料粮[10]。通过发展优质人工草地，加快调整养殖结构，加大牛、羊等草食家畜的养殖比例，不仅可以提高牛羊肉、牛奶等畜产品的国内供给，也可以缓解牛羊养殖中对饲料粮的需求，从保障优质畜产品供给和减少饲料粮消耗两个角度共同服务于保障国家大粮食安全。为了满足人民日益增长的美好生活需要和对营养健康的新需求，我国陆续出台了一系列政策支持草食畜牧业发展。特别是 2015 年中央一号文件提出“加快发展草牧业”以来，作为我国农业供给侧结构性调整的重要内容，草牧业在全国适宜地区得到了大力发展。

2015 年以来，全国牧草产量、牛羊肉产量、牧草的规模化种植和牛羊的规模化养殖方面均取得了显

① 数据来源为公开数据整理。

著成效[11]。我国牛羊肉产量从2015年的10.57 Mt增长至2020年的11.64 Mt，增长了10.1%；牛奶产量从31.80 Mt增长至34.40 Mt，增长了8.2%；与此同时，猪禽肉的产量从74.71 Mt下降至64.74 Mt，下降了13.3%——主要是受非洲猪瘟疫情的冲击，猪肉产量减少了15.32 Mt（图3）。2011—2015年，我国牛奶产量的平均增速是1%，2016—2020年平均增速为1.7%；2011—2015年我国牛羊肉产量的平均增速是0.1%，而2016—2020年的平均增速达到了2%。

根据我国不同地区的气候条件、生态环境和资源禀赋，按照《全国种植业结构调整规划（2016—2020年）》（农农发〔2016〕3号）、《关于促进草牧业发展的指导意见》（农办牧〔2016〕22号）和《关于北方农牧交错带农业结构调整的指导意见》（农计发〔2016〕96号）及方精云等[2]、李新一等[11]的研究，我国适宜草牧业发展的区域划分为北方草原牧区、南方草山草坡、农区②和农牧交错带四大类区域。2015年以来，各个区域均开展了大量实践探索和示范推广，总结了诸多成功经验。例如，内蒙古呼伦贝尔草原的“种草—制草—养畜”的生态草牧业模式[2]，青

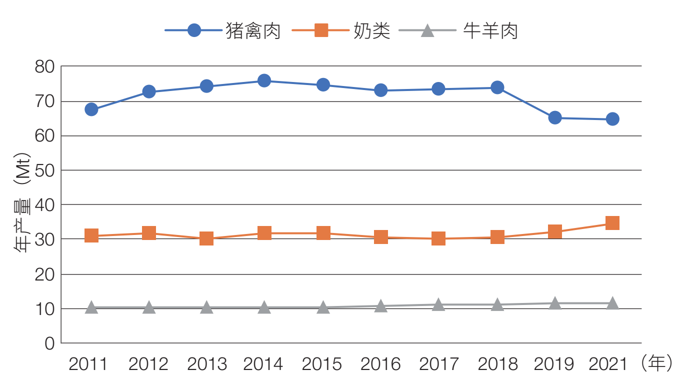


图3　2011—2020年我国肉类（猪禽肉、牛羊肉）、牛奶的产量变化

Figure 3　Yield of meat (pig meat, poultry meat, beef, and mutton) and dairy in China from 2011 to 2020

数据来源：国家统计局网站历年中国统计年鉴，以及公开数据

Data source: China Statistical Yearbook and public data

藏高原、朔州的农牧交错带模式[12,13]，贵州、云南山地草牧业的草山草坡模式[14-16]。在农区，高树琴等[7]测算了中低产田发展草牧业的潜力。

3 北方农牧交错带对发展生态草牧业的重要意义

农牧交错带，又称半农半牧区或生态脆弱带（ecotone），是我国北方半湿润农区与干旱、半干旱牧区接壤的过渡地带；在南方，这种过渡多表现为垂直分布形态，大致以400 mm等雨线为中轴，拓展至250—500 mm等雨线，即从内蒙古高原东南缘，经辽西、冀北、晋陕北部和宁夏中部，在甘青交界处转而南北走向，经川西、滇西北，包括南、北两段[17,18]。该地带农牧镶嵌分布，区内时而农时而牧，农业制度波动性大。武弘麟[19]通过分析全新世大暖期以来的考古资料和历史文献资料，阐述了北方农牧交错带土地利用的演变过程，主要与气候和人文因素（农业民族、游牧民族）有关。农牧交错带作为连接我国种植业和畜牧业两大食物生产系统界面，蕴含着巨大的生产潜力，自古就是农区和牧区进行物资交换的经济纽带[20]。同时，农牧交错带是遏制荒漠化、沙化东移和南下的生态屏障。农牧交错带对农牧业生产、生态环境改善具有重要意义，在我国经济社会发展和生态环境保护方面具有重要的战略地位[21]。

20世纪80年代至2000年，我国北方农牧交错带的土地利用发生了复杂的相关转化：耕地转化为其他类草地面积9.5×10^4 km^2，其他类转化为耕地面积为9.1×10^4 km^2；草地转化为其他类面积为1.3×10^5 km^2，其他类转化为草地面积为1.1×10^5 km^2[22]。总体来讲，北方农牧交错带耕地和草地的面积比例约为1∶3.7[23]，土地利用的变化主要是耕地和草地的相互转化——减少的耕地主要是撂荒后转变为草地，增加的耕地主要

② 包括：东北地区、黄淮海地区、长江中下游地区、华南地区、西南地区、西北地区。

来源于开垦草地。北方农牧交错带由于对气候变化的敏感性和人类活动方式的不稳定性，是生态系统较为脆弱的区域。以土壤侵蚀程度来看，主要表现为东部草地退化，西部沙化严重[24]。草地盖度、草群高度、产草量均表现为下降，部分地区产草量下降为20%—50%[23]；北方农牧交错带的沙漠化土地达到 1.1×10^5 km^2[25]。1999年国家启动实施退耕还林还草工程以来，北方农牧交错带退耕还草的生态经济效益显著，主要表现为土壤理化性质改善[26]、水分和光能利用效率提升、单位面积生产力提高[27]。

大量实验结果表明，北方农牧交错带退耕还草后种植牧草可显著提高土壤有机碳和全氮含量、改良土壤物理性质、减少水土流失；通过发展种养循环，添加有机肥相较于化肥可以显著提高土壤有机碳。例如，种植黑麦草、柠条相较于传统向日葵—马铃薯—小麦轮作种植，可显著提高0—20 cm耕层的土壤有机碳[28]；种植老芒麦、无芒雀麦、冰草，无论单播和混播，均可显著提高小麦退耕地的土壤有机质和全氮含量[26]，对于改善小麦退耕地的土壤物理性状（如土壤容重、含水量、孔隙度和团聚体等）均有显著作用[29]；种植豆科牧草苜蓿不仅可以通过固氮显著增加土壤氮含量，且由于其多年生的特点可起到蓄水保土的作用——种植苜蓿的水土流失量仅为种植一年生粮食作物的1/16—1/9[30]。北方农牧交错带拥有长期的牧草种植历史，苜蓿和燕麦种植带已初具规模[31]。通过在北方农牧交错带发展人工草地，减轻天然草地的放牧压力，配合实施禁牧、休牧、舍饲等生态保护工程，将为草原生态环境改善、牧民生产方式转变、集约化畜牧业发展奠定基础。2017年，我国北方农牧交错带人工牧草种植面积达到 3.34×10^4 km^2，产草量32.27 Mt。其中，种植面积超过666.7 km^2 的包括青贮玉米、紫花苜蓿、柠条、羊草等10个物种；其中，亩产最高的是青贮青饲高粱，达到2 094 kg（图4）

党的十八大以来，生态文明建设得到了前所未有的高度重视。2017年11月，原农业部《关于北方农牧交错带农业结构调整的指导意见》，以推进减粮增饲、强牧优特、规模种养为指导思想，大力发展草食畜牧业，统筹安排青贮饲料作物和优质牧草种植，推动过腹还田，实现草畜平衡、循环利用、均衡发展。十九大报告指出，建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计。2020年，《中共中央 国务院关于新时代推进西部大开发形成新格局的指导意见》提出，要进一步加大退耕还林还草工程的实施力度。2021年中央一号文件提出，一般耕地主要用于粮食和棉、油、糖、蔬菜等农产品及饲草饲料生产。在生态优先、绿色发展的新要求下，北方农牧交错带通过种植结构调整，实施农牧耦合的发展策略，兼顾生态效益和经济效益，是实现可持续发展的必然路径。国家相关指导

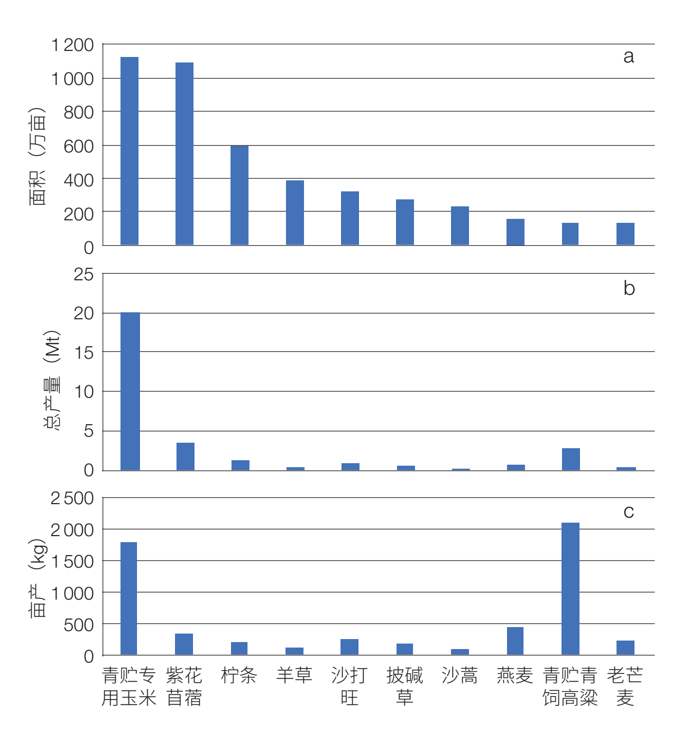


图4 我国北方农牧交错带种植面积最多的10种牧草

Figure 4 Yield of 10 kinds of forage grass in FPE (yield pre mu) of northern China

（a）种植面积；（b）总产量；（c）亩产；统计范围为位于我国北方农牧交错带区域内的半牧区县，含8省份77县（旗、市、区）；数据来源为《中国草业统计2017》[32]

(a) Area; (b) Yield; (c) Yield pre mu; the study area is located in half pastoral area county in FPE of northern China, including 77 counties (or banners) of 8 provinces; data source: *China Grass Industry Statistics 2017*[32]

意见的出台，为北方农牧交错带的结构调整和转型发展提供了政策支持。

4 关于北方农牧交错带支撑生态草牧业发展的建议

在新时代我国高度重视生态文明建设的新形势下，伴随居民对优质动物蛋白食物需求持续增长的要求，无论是从牧草供给端，还是畜产品需求端，都为北方农牧交错带的发展提供了利好条件，是该区域实现高质量转型发展的重要机遇。方精云等[33]提出了生态草牧业发展的“以小保大”原理，即通过发展小面积优质高产的人工草地，大幅提高饲草供应能力，从而保护大面积天然草地，实现其生态功能的恢复和提升。通过在呼伦贝尔的实践表明，人工草地的产量是天然草地的6—37倍，可以实现“以小保大”。北方农牧交错带是利用“以小保大”原理，发展生态草牧业的重要区域；为了促进其生态草牧业高质量发展，本文提出4点建议。

*（1）加强顶层设计，做好总体规划。*农牧交错带生态环境脆弱、水资源贫乏，应根据水土资源本底，统筹规划其耕地和草地资源，探索适宜的“以小保大”比例，合理配置人工草地和天然草地的面积，加强抗旱品种和节水灌溉技术的应用，探索科学的草粮轮作制度；遵循“生态优先，以草定畜”的原则，通过种养结构的优化、耕作制度的完善和空间布局的合理调整，建立“种草—制草—养畜”的耦合产业链，实现生态、生产双赢。

*（2）利用现代分子生物学手段，加快优良牧草品种培育。*农牧交错带气候多变、地形地貌复杂、土壤水分亏缺，提高牧草生产力要从品种源头抓起。借鉴作物分子模块育种的方法，发展基于整体思维和系统认知的分析技术，在优势底盘品种本底基因组基础上，系统开展高产、优质、抗逆分子模块的耦合与拆分效应分析，建立牧草高通量分子选育技术，加快牧草选育进度，实现牧草跨代驯化选育。

*（3）加强饲料配方和加工技术研发，促进饲草原料的高效利用。*当前，北方农牧交错带种植的牧草品种较为单一：一年生牧草以青贮玉米为主，占70%；多年生牧草以紫花苜蓿为主，占32%。建议建立健全饲料原料营养价值数据库，研发不同生长阶段的专用饲料配方。同时，研发专用微生物菌剂，促进秸秆等农业副产物的饲料化利用，全面推广饲草料精细加工技术和专用饲料配方，推进饲草料专业化生产。

*（4）结合实施乡村振兴战略，打造一批由畜产品产业主导的特色乡镇。*牧区和半牧区是我国经济相对欠发达地区，既是发展生态草牧业的主要区域，也是我国实施乡村振兴战略的重要区域。农业农村部印发《推进肉牛肉羊生产发展五年行动方案》，拟建设一批以肉牛肉羊为主导产业的强镇。基于农牧交错带气候条件和资源承载力，应充分发挥其农牧系统的耦合效应，根据“以小保大”原理发展生态草牧业产业体系，打造“农牧林旅”复合型产业链条，以服务乡村振兴战略提出的生态宜居、生活富裕的总要求。

在北方农牧交错带大力发展生态草牧业，是提高我国畜牧业总产值、发展农牧区经济、增加农牧民收入的重要战略途径。通过建设高产人工草地，将会在很大程度上取代依赖天然草地的牧草生产功能进行畜牧业生产的传统做法，减轻对天然草地的放牧压力，是实现我国天然草地生态系统功能属性转移的重大战略工程。而保护和建设草原，并进行合理规划和科学利用，是减轻饲料粮压力、保障我国大粮食安全的重要举措。在优质高效的人工饲草基地（人工草地、草粮轮作）和天然草地恢复改良所形成的巨大生产力支撑下，发挥生态草牧业“以小保大”的优势，在实现保护草原生态环境的前提下提高畜牧业生产，将为服务国家粮食安全和生态安全提供支撑，并促进农牧交

错带区域可持续高质量发展。

参考文献

1 Brown L R. Who will feed China? World Watch, 1994, 7(5): 10-19.

2 方精云, 景海春, 张文浩, 等. 论草牧业的理论体系及其实践. 科学通报, 2018, 63(17): 1619-1631.

3 周道玮, 张平宇, 孙海霞, 等. 中国粮食生产与消费的区域平衡研究——基于饲料粮生产及动物性食物生产的分析. 土壤与作物, 2017, 6(3): 161-173.

4 中国农业科学院. 中国农业产业发展报告2020. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2020.

5 任继周. 我国传统农业结构不改变不行了——粮食九连增后的隐忧. 草业学报, 2013, 22(3): 1-5.

6 中国营养学会. 中国居民膳食指南2016. 北京: 人民卫生出版社, 2016.

7 高树琴, 王竑晟, 段瑞, 等. 关于加大在中低产田发展草牧业的思考. 中国科学院院刊, 2020, 35(2): 166-174.

8 Sans P, Combris P. World meat consumption patterns: An overview of the last fifty years (1961-2011). Meat Science, 2015, 109: 106-111.

9 中国营养学会. 中国居民膳食指南科学研究报告2021. (2021-02-25). https://www.cnsoc.org/latesachie/422120204.html.

10 任继周, 李发弟, 曹建民, 等. 我国牛羊肉产业的发展现状、挑战与出路. 中国工程科学, 2019, 21(5): 67-73.

11 李新一, 周晓丽, 尹晓飞, 等. 我国草牧业发展的共识与再认识. 中国饲料, 2020, (3): 97-101.

12 徐田伟, 赵新全, 张晓玲, 等. 青藏高原高寒地区生态草牧业可持续发展: 原理、技术与实践. 生态学报, 2020, 40(18): 6324-6337.

13 段金秀. 朔州市草牧业发展的新举措. 中国畜牧业, 2019, (8): 68-69.

14 高树琴, 胡兆民, 韩勇, 等. 生态草牧业在我国精准扶贫中的作用和潜力——中国科学院植物研究所科技扶贫实践与模式探索. 中国科学院院刊, 2019, 34(2): 223-230.

15 龙金梅, 谭忠银. 贵州省黔南州现代山地生态草牧业发展现状及对策. 畜牧兽医科学（电子版）, 2019, (7): 157-158.

16 王文, 陈平, 叶朗惠. 山地草牧业发展思路探讨. 中国畜牧业, 2020, (3): 33-36.

17 周立三, 吴傅钧, 赵松乔, 等. 甘青农牧交错地区农业区划初步研究. 北京: 科学出版社, 1955.

18 赵松乔, 程鸿, 郭扬, 等. 川滇农牧交错地区农牧业地理调查资料. 北京: 科学出版社, 1959.

19 武弘麟. 历史上中国北方农牧交错带土地利用演变过程. 水土保持研究, 1999, 6(4): 91-94.

20 史德宽. 农牧交错带在持续发展战略中的特殊地位. 草地学报, 1999, 7(1): 17-21.

21 张建春, 储少林, 陈全功. 中国农牧交错带界定的现状及进展. 草业科学, 2008, 25(3): 78-84.

22 刘军会, 高吉喜, 耿斌, 等. 北方农牧交错带土地利用及景观格局变化特征. 环境科学研究, 2007, 20(5): 148-154.

23 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题. 地球科学进展, 2002, 17(5): 739-747.

24 邹亚荣, 张增祥, 周全斌, 等. 农牧交错带土地利用的土壤侵蚀状况分析. 水土保持通报, 2004, 24(5): 35-38.

25 薛娴, 王涛, 吴薇, 等. 中国北方农牧交错区沙漠化发展过程及其成因分析. 中国沙漠, 2005, 25(3): 320-328.

26 韩建国, 韩永伟, 孙铁军, 等. 农牧交错带退耕还草对土壤有机质和氮的影响. 草业学报, 2004, 13(4): 21-28.

27 韩永伟, 韩建国, 张蕴薇, 等. 农牧交错带退耕还草的生态经济效益与技术措施的探讨. 农业环境科学学报, 2005, 24(S1): 389-392.

28 张煜, 张琳, 吴文良, 等. 内蒙农牧交错带地区土地利用方式和施肥对土壤碳库的影响. 土壤学报, 2016, 53(4): 930-941.

29 韩永伟, 韩建国, 张蕴薇. 农牧交错带退耕还草对土壤物理

性状的影响. 草地学报, 2002, 10(2): 100-105.
30 梁秀芝, 郑敏娜, 韩志顺, 等. 雁门关生态畜牧经济区苜蓿产业化发展探讨. 农业科技通讯, 2018, (2): 16-20.
31 师尚礼, 赵桂琴, 姚拓. 农牧交错带特征分析与苜蓿燕麦种植区域的形成. 草原与草坪, 2005, 25(6): 17-20.
32 全国畜牧总站. 中国草业统计2017. 北京: 中国农业出版社, 2018.
33 方精云, 潘庆民, 高树琴, 等. "以小保大"原理: 用小面积人工草地建设换取大面积天然草地的保护与修复. 草业科学, 2016, 33(10): 1913-1916.

Farming-Pastoral Ecotone of Northern China Plays Important Role in Ensuring National Food Security

GAO Shuqin[1] DUAN Rui[2] WANG Hongsheng[2] LI Ang[3] SHI Yue[3] JING Hai-Chun[1] FANG Jingyun[1*]

（1 CAS Engineering Laboratory for Grass-based Livestock Husbandry, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;
2 Bureau of Science and Technology for Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China;
3 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China）

Abstract China enters into a new era with high demand for nutritional and healthy food, and hence needs to adjust the agricultural production system to balance cereal production and livestock farming. Between the years 2010-2019 the production of red meat and milk has fallen far behind the consumption demand, resulting in sourcing and import of large quantity of red meat and milk products from the international market. In comparison to the average consumption levels in Asia and global, China's consumption will continue to grow in the future, presenting a great challenge to the goals of 85% self-sufficiency rate for beef and mutton and more than 70% for milk. The farming-pastoral ecotone (FPE) of northern China covers 655 thousand km^2 and plays an essential role in livestock farming and enviromental protection. How to implement Grass-based Livestock Husbandry and achieve high quality sustainable development of this region is discussed. Four suggestions are proposed, namely, to take a top-down approach and make a national plan the development of Grass-based Livestock Husbandry in the region; to introduce genome-based breeding of forage crops by molecular modules; to strengthen the innovation in forage product processing technologies to improve the usage efficiency of forage raw materials; and to integrate livestock farming into the rural revitalization initiative for the establishment of featured towns and villages dominated by livestock industries.

Keywords Grass-based Livestock Husbandry, farming-pastoral ecotone (FPE) of northern China, food security, ecological security

*Corresponding author



高树琴　中国科学院植物研究所高级工程师。主要从事草牧业理论与政策研究。E-mail: gaoshuqin943@ibcas.ac.cn

GAO Shuqin　Senior Engineer, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (CAS). Her research focuses on the theoretic framework and policy implications of Grass-based Livestock Husbandry. E-mail: gaoshuqin943@ibcas.ac.cn



方精云　中国科学院院士，发展中国家科学院院士。中国科学院植物研究所特聘研究员。主要从事植被生态与生物多样性、全球变化与陆地碳循环、生态遥感、生态草牧业等方面的研究。E-mail: jyfang@urban.pku.edu.cn

FANG Jingyun　Professor, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (CAS). He is Member of CAS, as well as fellow of the World Academy of Sciences for the advancement of science in developing countries (TWAS). His research focuses on vegetation ecology and biodiversity, global change and terrestrial carbon cycle, ecological remote sensing, and Grass-based Livestock Husbandry. E-mail: jyfang@urban.pku.edu.cn

■责任编辑：岳凌生